



MÁQUINAS ELECTRICAS Y TÉCNICAS MODERNAS DE CONTROL

**PRÁCTICA D. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS POR
MÍNIMOS CUADRADOS**

Práctica D

Identificación de sistemas por mínimos cuadrados

1. Objetivos

- 1.1 Que el alumno aplique el método de identificación de plantas por mínimos cuadrados.
- 1.2 Que el alumno aplique técnicas de diseño para el control de sistemas en tiempo discreto.

2. Introducción

Se ve en la sesión de laboratorio

3. Material y equipo necesario

DL2648-2647 Unidad de control PWM
DL2646-2647 Convertidor de frecuencia
DL2600ATT Transformador trifásico
DL2108SAL Unidad de alimentación monofásica
DL2025D Tacómetro
DL 1019 Freno electromagnético
DL 1021 Motor de corriente alterna tipo jaula de ardilla
Fuente de voltaje
Generador de funciones
Osciloscopio

4. Actividades previas

- 4.1 Investigue en qué consiste el método de identificación de parámetros por mínimos cuadrados [1, cap. 12].
- 4.2 Investigue técnicas de diseño de controladores en tiempo discreto [1;2].
- 4.3 Lea cuidadosamente las instrucciones y las especificaciones técnicas de los módulos utilizados en la práctica [3].

5. Actividades en el laboratorio

- 5.1 Programe en Matlab un archivo-M que calcule los parámetros a partir de datos de entrada y de salida según el método de mínimos cuadrados.

El código del Anexo A obtiene el vector de parámetros

$$\theta = [a_1 a_2 \cdots a_n b_1 \cdots b_n]^T$$

de la función de transferencia

$$G(z, \theta) = \frac{b_1 z^{n-1} + b_2 z^{n-2} + \dots + b_n}{z^n + a_1 z^{n-1} + a_2 z^{n-2} + \dots + a_n}$$

mediante el método de mínimos cuadrados.

5.2 Utilice el osciloscopio y los módulos del laboratorio para obtener datos de entrada y salida del sistema. Recuerde que la señal de entrada debe ser persistentemente excitadora. Se recomienda obtener varios conjuntos de datos, correspondientes a señales de entrada diferentes.

Los datos de entrada/salida obtenidos se muestran en las gráficas de la figura 1. La señal en azul corresponde a la entrada al sistema y el verde, a la salida.

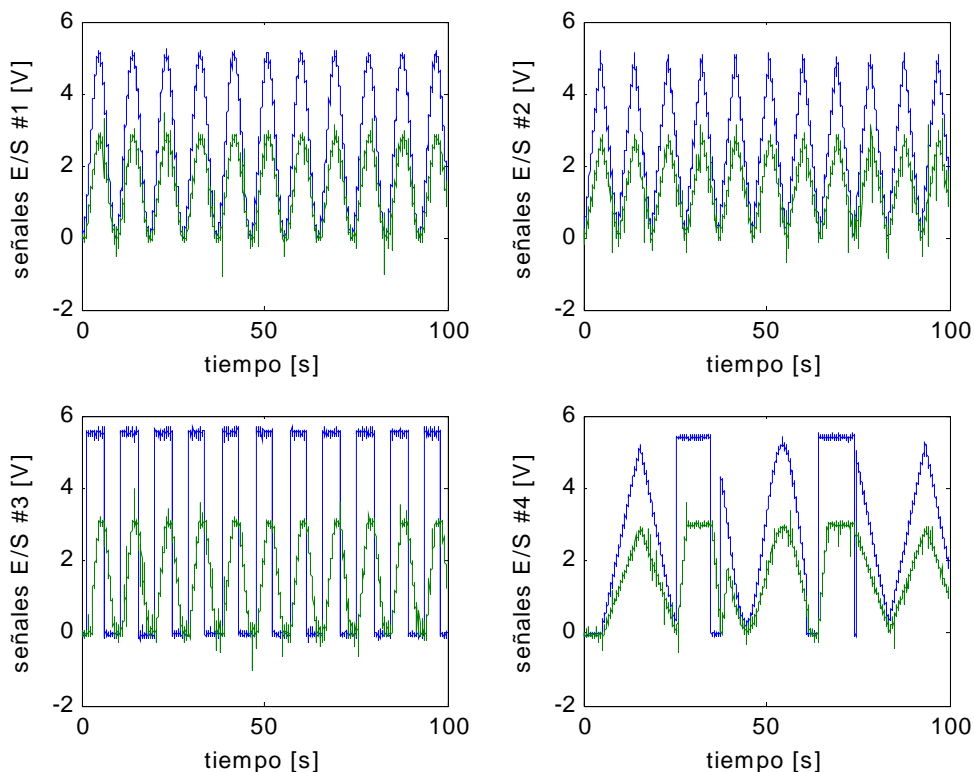


Figura 1. Señales experimentales de entrada y salida.

5.3 Con los datos obtenidos y el programa, obtenga los parámetros del sistema para diferentes valores del orden del mismo y para las diferentes señales. Reporte el valor de la suma de los cuadrados del error para todas las señales.

Los valores obtenidos para cada una de las señales anteriores, al considerar sistema de orden $1 \leq n \leq 6$ se reportan en el Anexo B. Se presenta a continuación la respuesta de los sistemas identificados a las señales obtenidas experimentalmente.

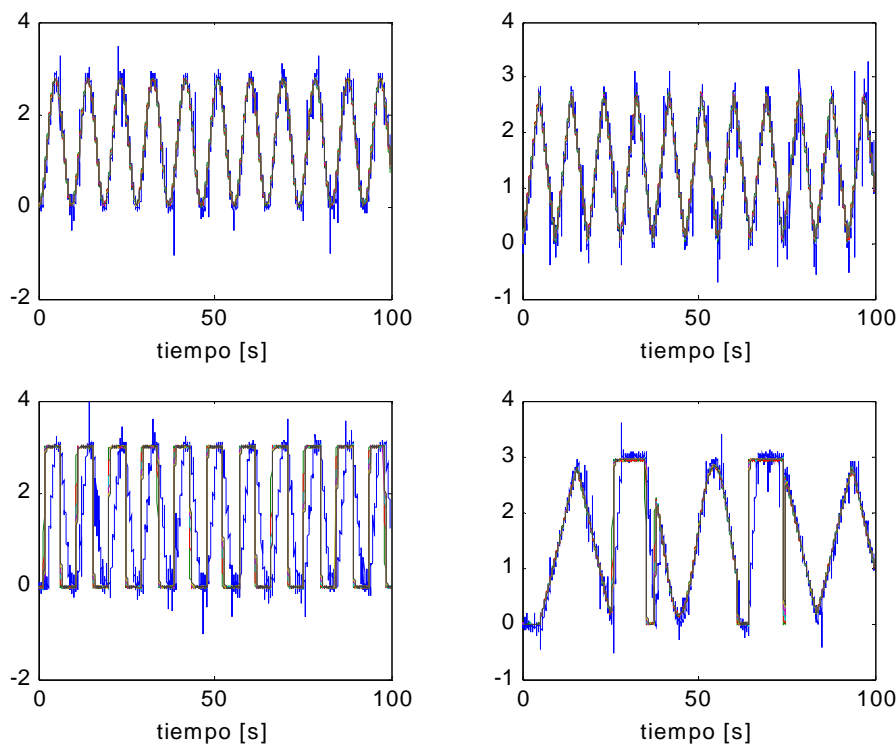


Figura 2. Respuestas del modelo estimado mediante la primera señal.

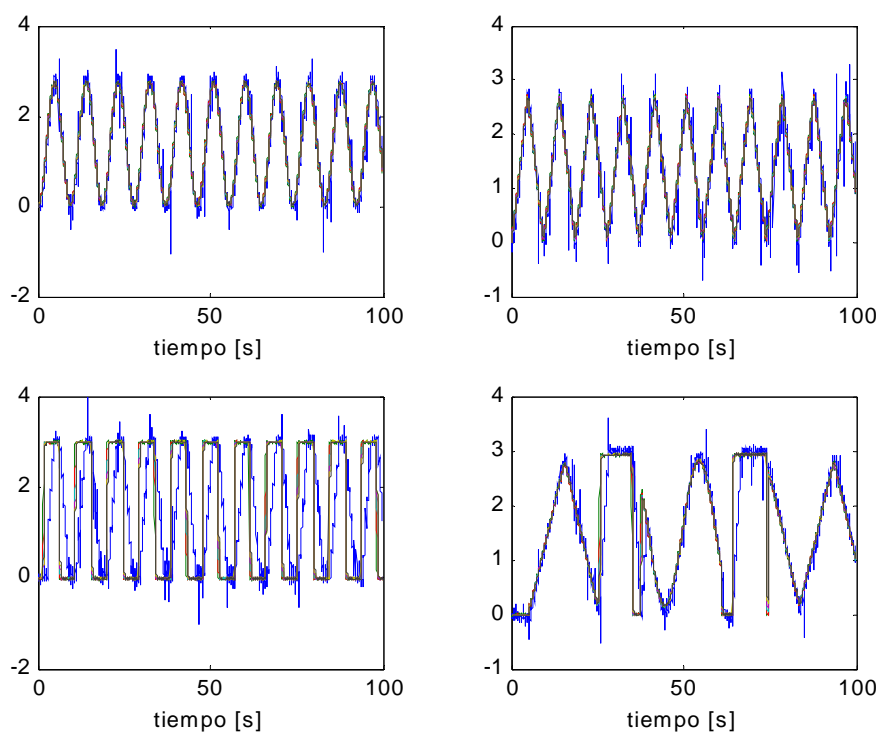


Figura 3. Respuestas del modelo estimado mediante la segunda señal.

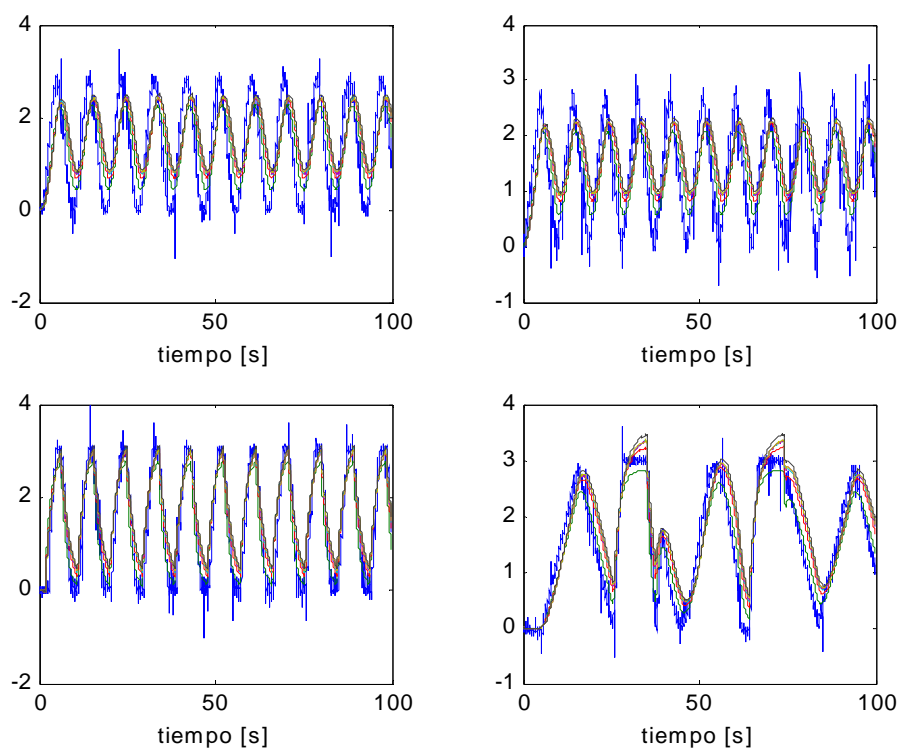


Figura 4. Respuestas del modelo estimado mediante la tercer señal.

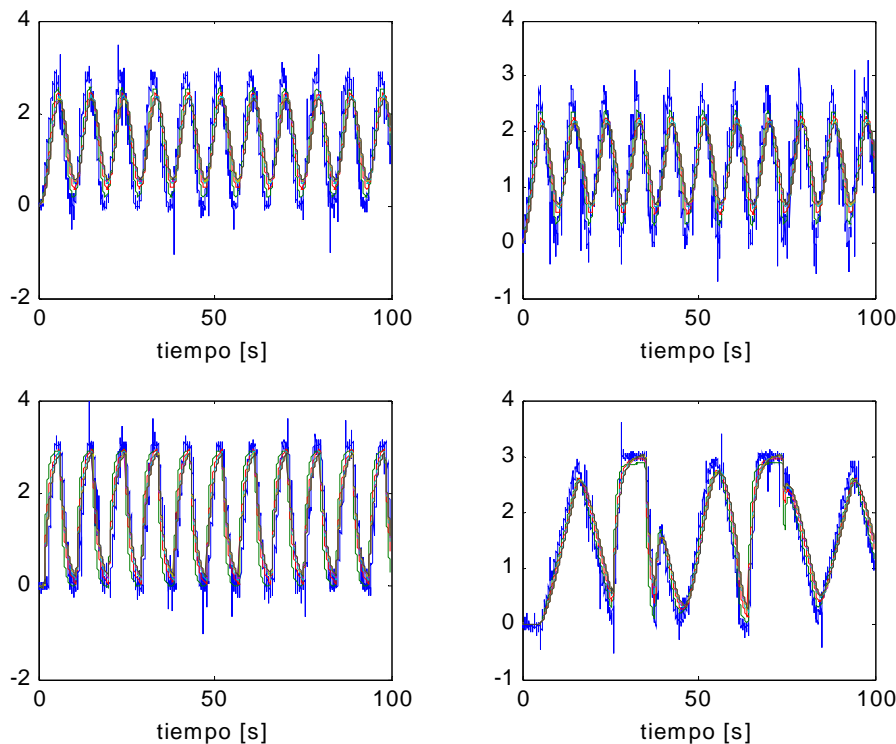


Figura 4. Respuestas del modelo estimado mediante la cuarta señal.

La tabla 1 presenta la suma total de los errores al cuadrado para todos los modelos estimados y todas las señales de entrada. Los resultados se obtuvieron a través del código del Anexo C.

orden n	modelo 1	modelo 2	modelo 3	modelo 4
$n=1$	25303.06916	25695.44174	9854.684019	9233.06832
$n=2$	23596.01385	24209.26943	13437.84343	8612.87652
$n=3$	22275.51343	23010.95041	15703.80207	9837.594636
$n=4$	21351.63782	21932.40037	16145.39609	10582.99056
$n=5$	20664.69433	21293.03195	16626.45067	10866.04589
$n=6$	20233.49969	20751.15741	17867.72853	11058.94799

De acuerdo con la tabla 1, de entre las funciones de transferencia propuestas la que mejor describe al sistema es

$$G(z) = \frac{.0052z + .0011}{z^2 - .5203z - .4682}$$

5.4 Pruebe la aproximación obtenida en el inciso anterior con diferentes datos de entrada y salida y compruebe su buen funcionamiento.

Las gráficas se presentaron en el inciso anterior.

5.5 Diseñe un controlador PI de velocidad para el modelo identificado. Se busca un error estático de posición nulo y que el sobretiro no sea mayor al 10%. Compruebe el funcionamiento del sistema en lazo cerrado.

En la figura 5 se observa el diagrama a bloques del sistema.

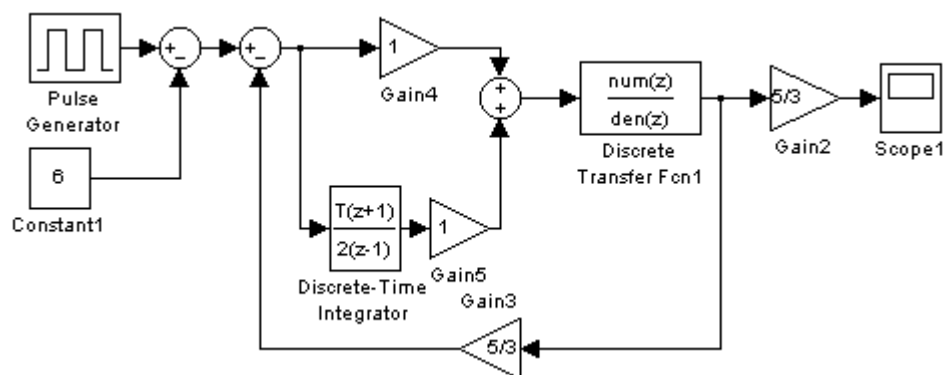


Figura 5. Diagrama a bloques del sistema en lazo cerrado.

La respuesta dinámica del sistema se presenta en la figura 6.

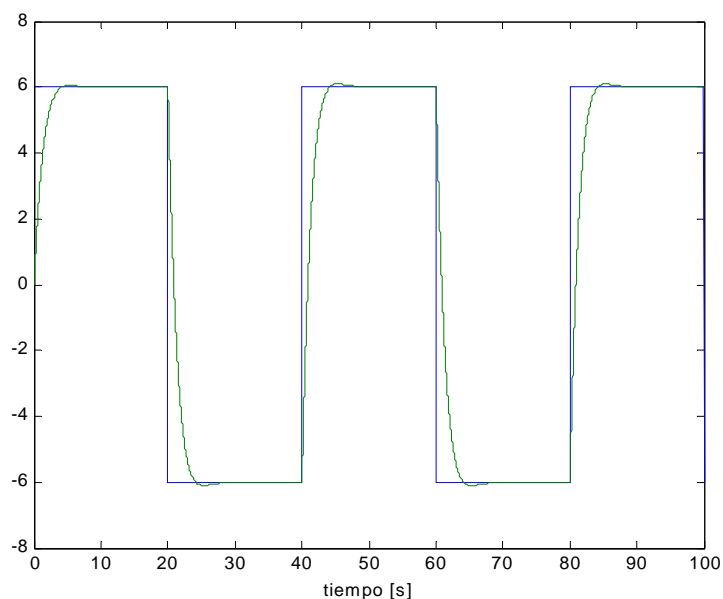


Figura 6. Señal de referencia y respuesta dinámica del sistema en lazo cerrado.

5.6 En la simulación, limite la entrada hacia la planta al rango de -70 a 70 Hz (-7 a 7 V). Incluya un circuito que evite la saturación del controlador. Compruebe el funcionamiento del sistema.

En la figura 7, se han agregado al esquema anterior el bloque de saturación para limitar las entradas y un circuito para evitar que el control (específicamente la acción integral se saturen), la respuesta del sistema se muestra en la figura 8.

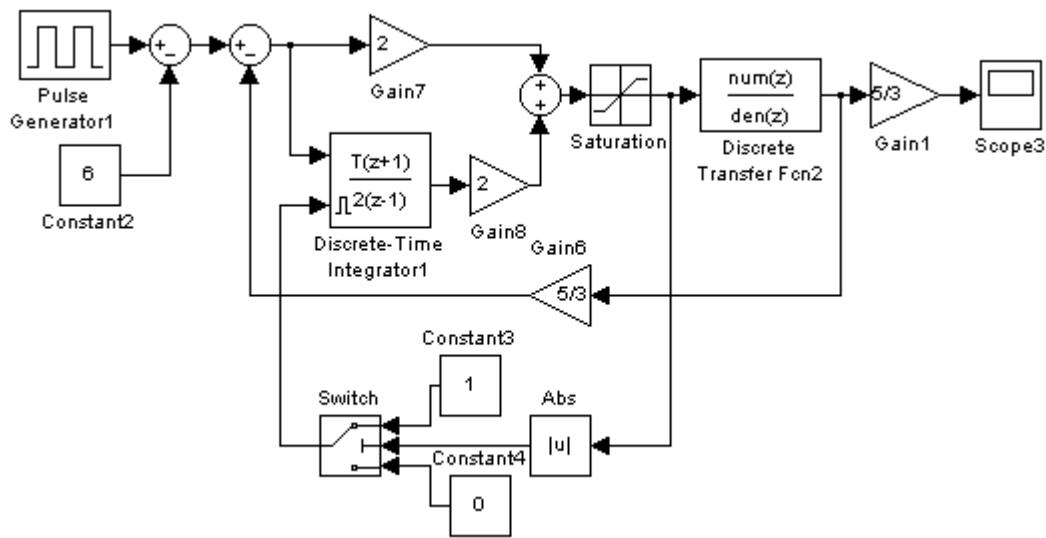


Figura 7. Esquema en lazo cerrado que incluye el circuito de saturación.

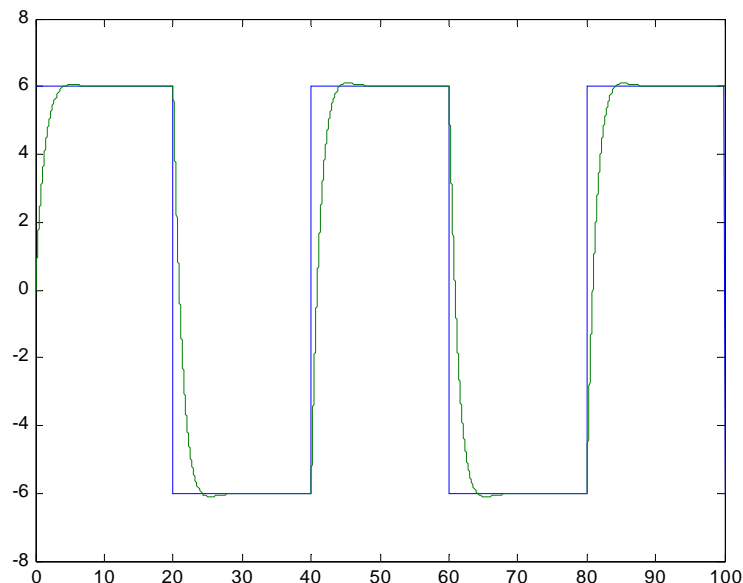


Figura 8. Respuesta dinámica del sistema final.

6. Referencias

- [1] Franklin, G; Powell, J.; Workman. *Digital Control of Dynamic System*
Tercera Edición. Adison-Wesley, 1998.
- [2] Ogata, K. *Discrete Times Systems*. Prentice Hall, 1987.
- [3] Manuales de DeLorenzo

Anexo A Identificación de parámetros por mínimos cuadrados

Los datos de entrada y salida se obtienen del archivo de datos identificacion1.mat.

```
clear
clc

%datos experimentales
load identificacion.mat

%definir número de periodos de muestreo
N=9999;

%orden del sistema
for n=1:6

    for k=n:N;
        Y(k-n+1,1)=yk(k+1);
        L=1;
        for m=n:-1:1
            PHIY(k-n+1,L)=yk(m+k-n);
            PHIU(k-n+1,L)=uk(m+k-n);
            L=L+1;
        end
    end

    PHI=[-PHIY PHIU];
    PRODPHI=PHI'*PHI;

    for j=1:n
        for k=1:n
            CHKPEI(j,k)=PRODPHI(n+j,n+k);
        end
    end
end
```

det(CHKPEI)

THETALS=inv(PHI*PHI)*PHI*Y

end

Anexo B Parámetros identificados

Valores de los coeficientes estimados para cada una de las señales de entrada

		datos			
		#1	#2	#3	#4
		0.01	0.01	0.01	0.01
n=1	a11	-0.7755	-0.6747	-0.9933	-0.9868
	b11	0.1218	0.1758	0.0035	0.007
n=2	a21	-0.4246	-0.3544	-0.5338	-0.5203
	a22	-0.4083	-0.4265	-0.4592	-0.4682
	b21	0.0072	0.0402	-0.0056	0.0052
	b22	0.0836	0.0783	0.0098	0.0011
n=3	a31	-0.3055	-0.2365	-0.3991	-0.3653
	a32	-0.268	-0.3141	-0.3008	-0.2934
	a33	-0.2707	-0.2542	-0.2921	-0.3289
	b31	-0.0067	0.0251	-0.0042	0.0087
	b32	0.038	0.022	0.0108	-0.0038
	b33	0.0535	0.0586	-0.0016	0.002
n=4	a41	-0.2496	-0.1778	-0.3527	-0.3012
	a42	-0.2032	-0.2355	-0.2515	-0.2348
	a43	-0.1905	-0.1843	-0.2274	-0.2565
	a44	-0.1992	-0.2134	-0.1593	-0.194
	b41	-0.0015	0.0278	-0.0032	0.0102
	b42	0.0237	0.0063	0.0101	-0.0025
	b43	0.018	0.0113	-0.0102	0.0068
	b44	0.0456	0.057	0.009	-0.007
n=5	a51	-0.2179	-0.1453	-0.3332	-0.2726
	a52	-0.1681	-0.2037	-0.2242	-0.1952
	a53	-0.1486	-0.1421	-0.1961	-0.2201
	a54	-0.1459	-0.1746	-0.116	-0.1468
	a55	-0.1592	-0.1445	-0.1205	-0.1501
	b51	0.0101	0.0406	-0.0029	0.0106
	b52	0.0283	0.0036	0.0104	-0.0014
	b53	0.0073	-0.0012	-0.0105	0.0069
	b54	0.0209	0.0222	0.0031	-0.0191
	b55	0.0207	0.0378	0.0062	0.0115
n=6	a61	-0.2	-0.1279	-0.3241	-0.2558
	a62	-0.1484	-0.1808	-0.2152	-0.1785
	a63	-0.1263	-0.1211	-0.1812	-0.1951
	a64	-0.119	-0.144	-0.0983	-0.1242
	a65	-0.1237	-0.1191	-0.0947	-0.119
	a66	-0.1178	-0.1188	-0.0759	-0.1108
	b61	0.0223	0.0534	-0.0028	0.0106
	b62	0.0324	0.0129	0.0105	-0.0009
	b63	0.0051	-0.0018	-0.0102	0.0076

b64	0.0089	0.0135	0.0028	-0.0186
b65	-0.0008	0.0167	0.0025	0.0068
b66	0.0219	0.0074	0.0041	0.0038

Anexo C Código para calcular el acumulado del error al cuadrado

Los archivos error.mat incluyen los datos obtenidos al presentar a la entrada del sistema los datos obtenidos experimentalmente.

```
%calculo del error en minimos cuadrados
clc
e1=0;
e2=0;
e3=0;
e4=0;
e5=0;
e6=0;
for x=1:4
    if x==1
        load error1.mat
    end
    if x==2
        load error2.mat
    end
    if x==3
        load error3.mat
    end
    if x==4
        load error4.mat
    end
    salida=error(:,2);
    en1=error(:,3);
    en2=error(:,4);
    en3=error(:,5);
    en4=error(:,6);
    en5=error(:,7);
    en6=error(:,8);
    [a b]=size(error);
    for i=1:a
        e1=e1+(en1(i)-salida(i))^2;
        e2=e2+(en2(i)-salida(i))^2;
        e3=e3+(en3(i)-salida(i))^2;
        e4=e4+(en4(i)-salida(i))^2;
        e5=e5+(en5(i)-salida(i))^2;
        e6=e6+(en6(i)-salida(i))^2;
    end
end
end
```